

文章编号: 1006-7736(2014)02-0047-04

## 基于安全航线的海洋水文气象保障辅助决策仿真

孙成志<sup>1a, 2</sup>, 丁德文<sup>1, 3</sup>, 刘大刚<sup>1b</sup>(1. 大连海事大学 a. 环境工程学院; b. 航海学院 辽宁 大连 116026; 2. 海军大连舰艇学院 辽宁 大连 116018;  
3. 国家海洋局第一海洋研究所 山东 青岛 266061)

**摘要:** 提出一种动态水文气象环境信息显示系统. 使用气象、海洋预报服务部门提供的相关信息, 在电脑上动态显示舰船 24 h 和 48 h 所能到达海区的水文气象要素信息. 根据对所关心舰船在不同水文气象条件下航行安全性的统计, 使用风险分析理论和技术, 可对所关心舰船 2 天内可能到达目标海区航线的安全性进行客观、定量地仿真评价, 可为指挥人员选择最为适当的舰船出航, 提供科学决策的重要依据.

**关键词:** 舰船; 安全航线; 水文气象环境信息; 动态显示系统; 安全评价

中图分类号: U675.12

文献标志码: A

**Auxiliary decision-making simulation  
based on meteorological and hydrologic  
information for naval navigation security**

SUN Cheng-zhi<sup>1a, 2</sup>, DING De-wen<sup>1, 3</sup>, LIU Da-gang<sup>1b</sup>

(1a. Environmental Science &amp; Engineering College;

1b. Navigation College, Dalian Maritime University,

Dalian 116026, China; 2. Dalian Naval Academy,

Dalian 116018, China; 3. First Institute of Oceanography,

SOA, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** A dynamic indication system based on meteorological and hydrologic information was presented. Using the information from weather and ocean forecasting organizations, the meteorological and hydrologic information in the sea area where the ship can reach in 24 h and 48 h was shown. According to the navigation safety statistics of different ships under different conditions, safety assessment on the courses of target sea area within 2 days for concerned ships can be made based on the theory and technique of risk analysis. The actual simulation result shows that the proposed system can be used to make safety assessment for ships' courses objectively and

quantitatively, which can provide important basis of scientific decision-making for commanders to choose the most suitable ship and course to perform the mission.

**Key words:** ship; safe routes; meteorological and hydrologic information; dynamic indication system; safety assessment

## 0 引言

舰船在海上的航行安全及武器装备能否在当时的海洋水文气象环境条件下正常使用, 是舰船指挥人员在决定派出何种舰船出航完成任务前必须考虑的重要问题之一. 本文提出一种动态水文气象环境信息显示系统, 可为舰船指挥人员直观显示 2 天内舰船所能到达海区的水文气象要素信息<sup>[1]</sup>, 并能够客观地给出舰船前往目标海区航线的安全指数, 为指挥人员选择最为适当的舰船出航提供科学重要的决策依据<sup>[2]</sup>.

## 1 水文气象环境信息及来源

水文气象环境信息主要来自国家军内外气象和海洋预报部门. 本系统使用的水文气象环境信息主要来自因特网上的天气图. 在天气图不足或无法收到传真图的海区, 可参考 EGC (Enhanced Group Call) 等文字类的水文气象环境信息.

通过多年来对 Inter 网上各种气象和海洋信息网站上发布的水文气象环境信息的跟踪和研究, 并考虑到各水文气象要素对舰船航行安全可能的影响, 本系统关注的水文气象要素和来源见表 1.

收稿日期: 2013-09-21.

基金项目: 国家公益性行业科研专项项目 (GYHY201006034); 天津市海洋局科技兴海项目 (KJXH2012-25).

作者简介: 孙成志 (1964-) 男, 博士生, 副教授, E-mail: scz64519@sohu.com.

表 1 主要海洋水文气象要素信息和来源

Tab. 1 Main meteorological & hydrological elements & sources

要素	来源	网址
大风	中国中央气象台地面实况、24 h 和 48 h 地面预报	http://www.nmc.gov.cn/index.html
大浪	日本海浪实况、预报	http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html
雾区和海冰	日本地面实况和 24 h、48 h 地面预报	http://www.imocwx.com/index.htm
降水	日本 24 h、36 h、48 h 地面预报	http://www.tz123.com
海流	日本海洋水文要素网站	http://www.bioweather.net/
热带气旋 路径和强度	中国 NMC、日本 JMH 和美国 JTWC 预报	http://www.nmc.gov.cn/index.html http://www.imocwx.com/index.htm http://metocph.nmci.navy.mil/jtwe.html

## 2 舰船水文气象要素信息标绘及舰船安全性评价

利用本系统显示舰船所在海域相关水文气象要素信息时,可首先选定舰船基地或待命舰船位置为参考点,并根据舰船航速设定其 24 h 和 48 h 可能到达的海区范围;然后,在不同时间可能到达的海区内,根据前节所述的水文气象要素来源提供的资料,将各项要素范围和强度分别填入,即可直观显示不同时段、不同水文气象要素的状况<sup>[3]</sup>.为对舰船前往任务海区航线的安全性进行事先评价,可采用风险分析的理论和计算方法,对可能的航线进行安全评价<sup>[4]</sup>.在本系统中,主要考虑大风浪对舰船安全的影响<sup>[5]</sup>.

根据对某型舰船的调查,将其安全性划分为以下 4 个等级,如表 2 所示.

表 2 舰船风险等级

Tab. 2 Ships' risk degree

风险等级	含义
I	风险很小
II	有一定风险
III	风险较大
IV	风险极大

使用专家经验评定方法,得到不同类型舰船在不同大风浪状态下、达到不同安全等级的概率.本文中,大风等级分为 <7 级、7~8 级、8~9 级、9~10 级和 ≥10 级,共 5 种状态;大浪等级分为 <2 m、2~3 m、3~4 m 和 ≥4 m,共 4 种状态;风浪舷角分为 0°、45°、90°、135°和 180°,共 5 种状态;某级大风或大浪对舰船的作用时间分别取 ≤4 h、4~8 h 和 ≥8 h,共 3 种情况.这样,在不同等级大风或大浪作用下,可分别出现 15 种不同的风浪舷角和作用时间的航行状态<sup>[6]</sup>.由此,可分别得到舰船航线安全等级与风和浪这两个影响因子之间的模糊隶属关系.各级风险的隶属度见表 3.

表 3 舰船各级风险隶属度

Tab. 3 Meanings of membership of risk degrees

隶属度	意义
0.0	不会
0.1	极小
0.2	非常小
0.3	很小
0.4	较小
0.5	临界
0.6	较大
0.7	很大
0.8	非常大
0.9	极大
1.0	必定

对应于每一种航行状态,风的影响矩阵为

$$R_1(t) = \begin{matrix} <7 \\ 7\sim8 \\ 8\sim9 \\ 9\sim10 \\ \geq 10 \end{matrix} \begin{bmatrix} r_{11}^{(1)}(t) & r_{12}^{(1)}(t) & r_{13}^{(1)}(t) & r_{14}^{(1)}(t) \\ r_{21}^{(1)}(t) & r_{22}^{(1)}(t) & r_{23}^{(1)}(t) & r_{24}^{(1)}(t) \\ r_{31}^{(1)}(t) & r_{32}^{(1)}(t) & r_{33}^{(1)}(t) & r_{34}^{(1)}(t) \\ r_{41}^{(1)}(t) & r_{42}^{(1)}(t) & r_{43}^{(1)}(t) & r_{44}^{(1)}(t) \\ r_{51}^{(1)}(t) & r_{52}^{(1)}(t) & r_{53}^{(1)}(t) & r_{54}^{(1)}(t) \end{bmatrix} = \begin{matrix} (1) \end{matrix}$$

$$(\alpha_1^{(1)}(t), \alpha_2^{(1)}(t), \alpha_3^{(1)}(t), \alpha_4^{(1)}(t))$$

浪的影响矩阵为

$$R_2(t) = \begin{matrix} & I & II & III & IV \\ <2m \\ 2\sim3m \\ 3\sim4m \\ \geq 4m \end{matrix} \begin{bmatrix} r_{11}^{(2)}(t) & r_{12}^{(2)}(t) & r_{13}^{(2)}(t) & r_{14}^{(2)}(t) \\ r_{21}^{(2)}(t) & r_{22}^{(2)}(t) & r_{23}^{(2)}(t) & r_{24}^{(2)}(t) \\ r_{31}^{(2)}(t) & r_{32}^{(2)}(t) & r_{33}^{(2)}(t) & r_{34}^{(2)}(t) \\ r_{41}^{(2)}(t) & r_{42}^{(2)}(t) & r_{43}^{(2)}(t) & r_{44}^{(2)}(t) \end{bmatrix} = \begin{matrix} (2) \end{matrix}$$

$$(\alpha_1^{(2)}(t), \alpha_2^{(2)}(t), \alpha_3^{(2)}(t), \alpha_4^{(2)}(t))$$

收到航行海区的风浪预报,并确定了某一航行方案后,该船航行方案的危险等级即可求出<sup>[7]</sup>.记

$$\tilde{A}_1 = (a_{11} \ a_{12} \ a_{13} \ a_{14} \ a_{15}) \quad (3)$$

$$\tilde{A}_2 = (a_{21} \ a_{22} \ a_{23} \ a_{24}) \quad (4)$$

其中:  $a_{1i}$ 、 $a_{2i}$  分别为不同等级的大风和大浪出现的概率.

在大风作用下,该航行方案危险等级的模糊子集为

$$B_1 = ( \max_{1 \leq l \leq k} \{ A_1 \circ \alpha_1^{(1)}(t_l) \}, \max_{1 \leq l \leq k} \{ A_1 \circ \alpha_2^{(1)}(t_l) \}, \\ \max_{1 \leq l \leq k} \{ A_1 \circ \alpha_3^{(1)}(t_l) \}, \max_{1 \leq l \leq k} \{ A_1 \circ \alpha_4^{(1)}(t_l) \} ) \\ = ( x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 ) \quad (5)$$

其中:  $x_i (i = 1 \ 2 \ 3 \ 4)$  表示在大风作用下, 出现不同等级危险的风险度.

同样, 对于大浪的作用,

$$B_2 = ( \max_{1 \leq l \leq k} \{ A_2 \circ \alpha_1^{(2)}(t_l) \}, \max_{1 \leq l \leq k} \{ A_2 \circ \alpha_2^{(2)}(t_l) \}, \\ \max_{1 \leq l \leq k} \{ A_2 \circ \alpha_3^{(2)}(t_l) \}, \max_{1 \leq l \leq k} \{ A_2 \circ \alpha_4^{(2)}(t_l) \} ) \\ = ( y_1 \ y_2 \ y_3 \ y_4 ) \quad (6)$$

其中:  $y_i (i = 1 \ 2 \ 3 \ 4)$  表示在大浪的作用下, 出现 I II III IV 等级危险的风险度.

船舶在大风浪中, 其危险度等级的模糊评定结果为

$$B = ( z_1 \ z_2 \ z_3 \ z_4 ) \quad (7)$$

其中:  $z_i = x_i + y_i - x_i \cdot y_i (i = 1 \ 2 \ 3 \ 4)$  表示在大风浪的共同作用下, 船舶出现不同等级危险的风险度<sup>[8]</sup>.

3 实例仿真

图 1 为使用本系统根据 2008 年 8 月 19 日 0000UTC 的气象和水文信息得到的显示平台. 从图 1 可以看到, 未来对航行安全有影响的风浪区主要是 24 h 内位于菲律宾吕宋岛西北部的洋面. 该海域由于受台风鹦鹉 (T0812, Nuri) 的影响, 有大范围的 7 级大风区, 中心附近最大风力在 12 级以上, 海面最大浪高在 8 m 以上, 同时伴有大规模的降水区.

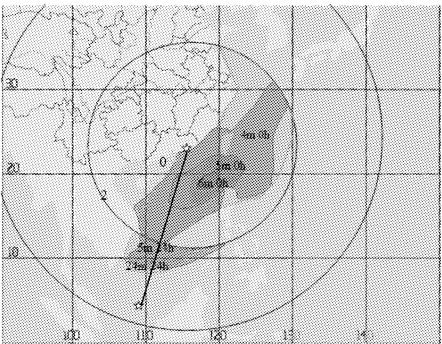


图 1 水文气象环境信息显示系统  
Fig.1 Actual wind & wave conditions shown in the system

若某型舰船准备出航, 拟前往位于 5°N/109°E 的海区执行任务, 使用上述方法, 对该型舰船进行实例仿真. 该型舰船在不同风浪条件下的安全性, 可通过事先的专家调查方式获得. 表 4 为航

向、浪向夹角 0° 时, 大浪影响时间 ≤ 4 h 的模糊风险关系矩阵. 其他条件下的模糊风险关系矩阵, 以及大风影响情况下的模糊风险关系矩阵略.

表 4 模糊风险关系矩阵实例  
Tab.4 Example of matrix of fuzzy risk relationship

浪高/m	风险等级			
	I	II	III	IV
<2	1	0.1	0.0	0.0
2~3	0.8	0.2	0.0	0.0
3~4	0.1	0.4	0.7	0.1
≥4	0.0	0.3	0.6	0.2

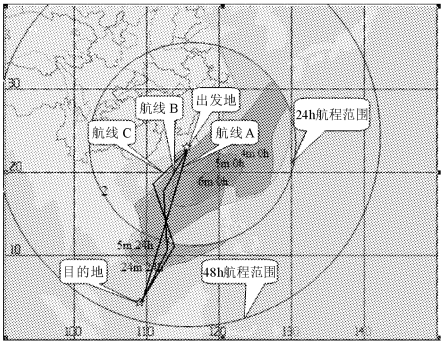


图 2 大风浪状况及各种航行方案显示  
Fig.2 Different Sailing plans and sea & wind conditions

图 2 为大风浪状况及各种航行方案显示. 根据图 2, 可得到 A、B、C 三个方案的航程, 并可依据某舰在不同风力、浪高、浪向和航向与浪向夹角下的经验航速, 以及不同大风浪区中的航行时间 (表 5). 在此基础上, 参照前述该舰在不同航向与风向、浪向夹角、不同的大风等级、大浪高度和不同的大风、大浪作用时间下, 存在不同等级风险可能性的模糊矩阵, 得到三个航行方案下存在不同等级风险的风险度.

表 5 不同航行方案情况  
Tab.5 Details of different sailing plans

航行方案	航行距离 /n mile	不同等级大风浪中航行时间及航向与风向/浪向的夹角			航行时间 /h
		≥10 级/ ≥5 m	8~9 级/ 4~5 m	≤7 级/ <4 m	
A	1092	10.4 h/0°	20.6 h/0°	8.0 h/0°	39.1
B	1188	—	15.8 h/0° 15.8 h/45°	9.6 h/0°	41.2
C	1314	—	10.5 h/0° 13.1 h/45°	19.0 h/0° 2.4 h/45°	45.0

按照 A、B 和 C 方案航行时存在 I II III IV 等级风险的风险度分别为

$$B_A = ( 0.0 \ 0.0 \ 0.4 \ 0.8 ) \\ B_B = ( 0.0 \ 0.1 \ 0.7 \ 0.4 )$$

$$B_c = (0.0 \ 0.3 \ 0.6 \ 0.2)$$

从计算结果可以看出: A 航线虽然航程最短、航时最省,但由于要有超过 10 h 航行于 5 m 以上大浪区中,风险度过高,“风险极大”的隶属度为 0.8,因此不适用。航线 B 完全避开了 5 m 以上大浪区,但有 3/4 的时间要航行在 4~5 m 的大浪区,隶属于“风险极大”和“风险很大”的程度分别为 0.4 和 0.7,航行时间比航线 A 多 2 h。航线 C 也是完全避开了 5 m 以上大浪区,航行在 4~5 m 大浪区的时间约为整个航行时间的一半,隶属于“风险极大”和“风险很大”的程度则分别为 0.2 和 0.6,较航线 B 略低,但航行时间比方案 A 和 B 分别长 5.9 h 和 3.8 h。在具体决策时,航行方案可根据任务的紧迫性和对风险的承受能力,在航线 B 和 C 间选择。

#### 4 结 论

本文提出的基于舰船安全航行的海洋水文气象保障辅助决策系统,具有直观显示各种影响舰船航行安全的水文气象要素的功能,并可以客观定量地对不同航行方案进行风险度的评价和仿真。该显示系统可以用来为科学地选择大风浪条件下舰船航行方案提供决策依据。

#### 参考文献(References):

- [1] 罗永宏. 海上搜救智能辅助决策系统探究[J]. 中国航海, 2004(3): 21-24.  
LUO Yong-hong. Study of intelligentized aided decision system for salvage and rescue at sea[J]. Navigation of China, 2004(3): 21-24. (in Chinese)
- [2] ZUO Shu-hua, LI Bei, ZHANG Zheng. Research and development of dynamic visualization system for maritime search and rescue [J]. China Maritime Safety, 2008 (10): 18-21.
- [3] 葛建中, 胡克林, 丁平兴. 风暴潮集成预报可视化系统设计和应用[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2007(4): 20-25.  
GE Jian-zhong, HU Ke-lin, DING Ping-xing. Design and application of integrated visualized storm surge forecasting system[J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2007(4): 20-25. (in Chinese)
- [4] 刘大刚, 郑中义, 吴兆麟. 大风浪中航行船舶风险体系分析[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(2): 100-102.  
LIU Da-gang, ZHENG Zhong-yi, WU Zhao-lin. Risk analysis of underway ships in heavy sea [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(2): 100-102. (in Chinese)
- [5] LIN Ming-zhi, LIU Tao, LENG Mei, et al. Target circle technique of avoiding tropical cyclones [C]// Proceedings of Asia Navigation Conference. Beijing: China Institute of Navigation, 2005: 202-209.
- [6] 刘大刚, 徐东华, 吴兆麟. 大风浪中航行船舶的危险度估算模型[J]. 交通运输工程学报, 2005, 5(3): 83-86.  
LIU Da-gang, XU Dong-hua, WU Zhao-lin. Risk degree assessment model of navigating ship on heavy sea [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(2): 83-86. (in Chinese)
- [7] 刘大刚, 刘正江, 吴兆麟. 基于多源预报的热带气旋危险区域的确定方法[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(2): 80-84.  
LIU Da-gang, LIU Zheng-jiang, WU Zhao-lin. Determining method of dangerous areas around tropical cyclone based on multisource forecasts[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(2): 80-84. (in Chinese)
- [8] 吴金龙, 白春江, 刘大刚. 船舶—热带气旋动态标绘系统[J]. 中国航海, 2013, 36(2): 114-119.  
WU Jin-long, BAI Chun-jiang, LIU Da-gang. Ship-TC dynamic plotting system[J]. Navigation of China, 2013, 36(2): 114-119. (in Chinese)